◎農試所／黃毓斌．江明耀

氣候變遷對農業上有害生物之發生分布及其因應調適策略

緒言

農業生態系的研究是探討作物及有害生物(病、蟲、草) 彼此間交互作用。例如雜草會影響土壤、成份、作物生長或其他生物個體發育、存活、行為及族群繁衍。然而當作物或其他有害生物受到氣候因子的長期影響，其彼此間交互作用的關係將更加複雜化。近年來由於極端天氣造成全球不可抹滅的重大災害，此項議題基於氣候變遷對全球，甚至於造成其他物種入侵、擴散路徑及分布，這樣的長期性氣候變遷情境，對有害生物物種的多樣性、適應性及發生範圍造成不可逆的影響，在全球農業栽培管理引起重大變異。

有害生物生物學及地理分布特性

所謂有害生物泛指所有會對人類或人類日常生活關注的物種有害的動物或植物。而害蟲這名詞亦常用來指昆蟲綱或其他蟲狀的有害生物。若依照 International Standards for Phytosanitary Measures (國際植物防疫檢疫措施標準，ISPM) 定義為任何對植物或植物產品有害的任何植物、動物或病原體之種、品系或生物型。根據我國植物防疫檢疫法定義有害生物係指真菌、黏菌、細菌、病毒、類病毒、菌質、寄生性植物、雜草、線蟲、昆蟲、蟎蜱類、軟體動物、其他無脊椎動物及脊椎動物等直接或間接加害植物之生物，或有破壞生態環境之虞之入侵種植物。

以農業害蟲來看，由於是變溫動物，依照生物積溫特性，隨著溫度上升，發育速率增加，發育生長期隨著縮短，因此害蟲可在短時間內造成流行性危害及經濟損失。大部分農業害蟲在極端惡劣氣候條件下 (太熱、太冷、太乾、太濕……)，會面臨存亡及繁殖損失，然有些害蟲自己本身會因自我調節而採取適應性改變，例如高溫下繁殖高峰期提早或低溫下減低能量消耗，延長壽命，如休眠。

探討農業害蟲受到氣候因子影響時，常運用 Pest Phenology (物候學)、積溫原理、溫度依變模式 (Temperature-Dependant model) 及生命

表策略 (存活、壽命及繁殖率) 等分析方法探討氣象對害蟲生態特性之影響，蒐集各種不同氣候條件資料進行族群動態模擬時，以大數據分析，能掌握害蟲各種條件下族群變化。依照有效積溫的原理，昆蟲完成某一階段的發育，需要一定的有效積溫。根據時間和溫度在發育速率上的直線關係，可計算出昆蟲完成發育所需的有效積溫，

$K = D (T - T0)$

其中：K 為有效積溫常數，T 為環境溫度，T0 為發育臨界低溫，D 為發育天數，然而

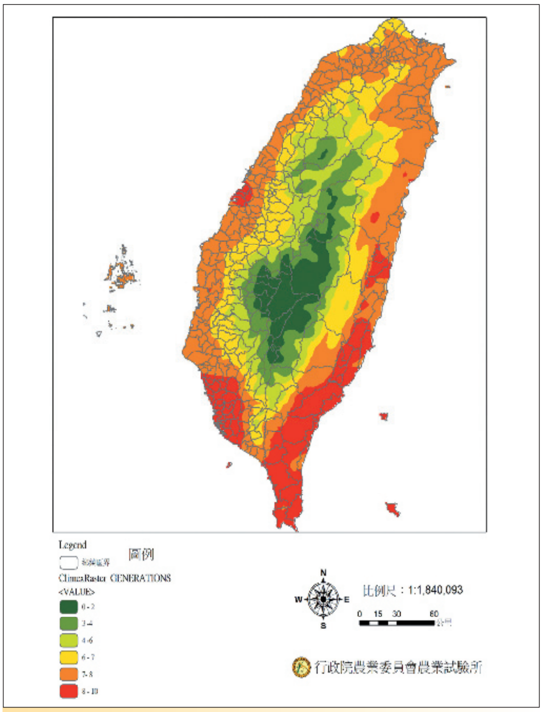
$V = 1/D$ (發育速率)

$V = (T-T_0)/K$

$T = KV + T_0$

由直線迴歸方程式 (統計學) 即可算出 K (斜率) 及 T_0 (截距)

有效積溫及發育臨界溫度是昆蟲的基本生物學特性，據此可以預測昆蟲在某地發生代數。如果有害蟲的基本資料與當地氣象資料，配合地理資訊系統 (Geographic Information System) 就可知道害蟲一年當中發生代數或從某一段作物生理時間到採收時間所估測發生代數，以地圖顯示害蟲可能發生分布熱點 (圖1)。



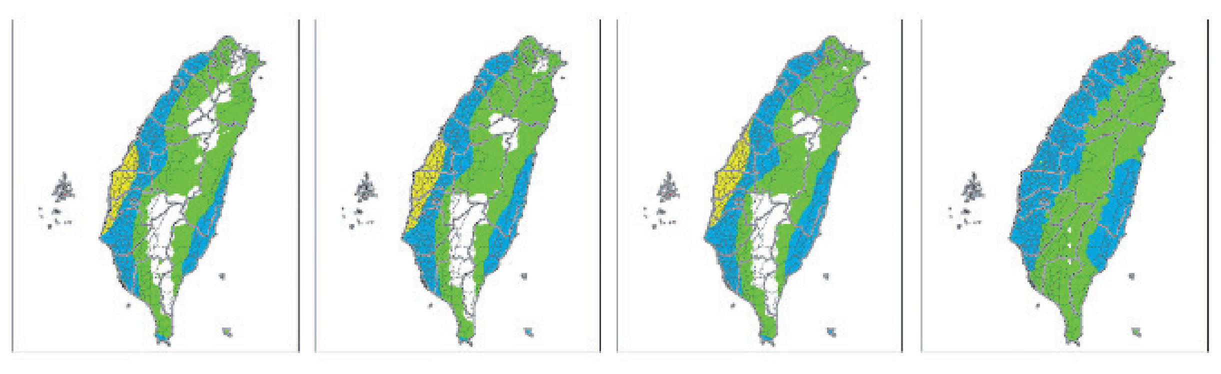
↑圖1. 氣溫影響有害生物的分布及代數

氣候變遷對有害生物分布的影響

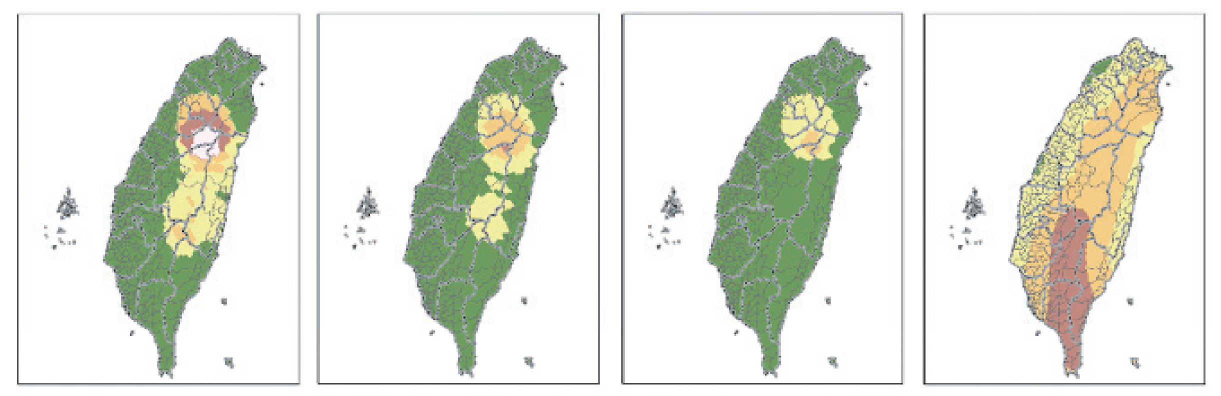
氣候變遷對於農業上害蟲的影響，參考國外學者所整理氣候變遷對於農業害蟲的影響有 1. 生物多樣性的減少。2. 地理區的擴散。3. 世代數的增加。4. 增加越冬存活率。5. 地理區的擴散世代數增加。6. 入侵種的風險。7. 族群變動及猖獗。8. 植物抗性下降。9. 作物與有害生物間的交互作用。10. 影響生物防治效能。11. 授粉昆蟲受到干擾 (Fand *et al.*, 2012)。依照專家學者之論點，顯示氣候變遷對於有害生物世代數及地理區分布有很大的影響，因此若能掌握長期的氣象資料，可運用物種所需要的氣候參數，這種參數主要有 3 部分組成：增長指數 (GI)、逆境指數 (SI) 及其它相互間聯合效應之限制條件，利用這些參數，以物種分布模式來探討物種對氣候變遷的不同反應情境，以及各因子間相互關係等對生物族群在極端氣候條件

下生存可能性，來推測有害生物的適合發生及分布情形，對於掌握有害生物適合生存的生態棲所有很大助益。

當地球趨於暖化，大地氣溫上升模擬情境時，由澳洲研究機構 CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation , https：//www.climond.org/Core/Authenticated / Climex.aspx) 所提供二〇三〇，二〇五〇，二一〇〇及基礎年 (1961～1990 年之 30 平均氣象資料相當於一九七五年氣象資料) 氣象資料，以 CLIMEX (Sutherst *et al*., 2007) 分析東方果實蠅 (*Bactrocera dosalis*) 在臺灣的潛在地理分布，在基礎年可以看出影響東方果實蠅的族群分布在於氣候溫度，對於族群分布限制除低溫外，未來二一〇〇年如趨於暖化，濕度或雨量將限制東方果實蠅的族群分布。如圖 2、3。若以鄰近國家來看，若趨於暖化，大陸東北、日本及韓國等國 (約超過北緯 31 度) 未來可能是東方果實蠅入侵定殖的風險地區 (圖 4)。



↑圖2. 依序基礎年，二〇三〇年、二〇五〇年、二一〇〇年氣候變遷對東方果實蠅的地理分布之變化

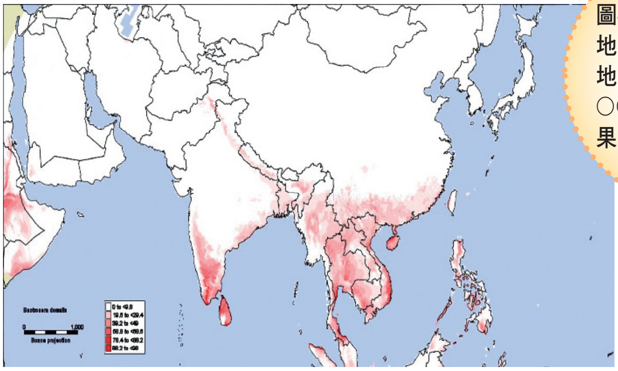


↑圖3. 依序基礎年，二〇三〇年、二〇五〇年、二一〇〇年低溫及雨量對東方果實蠅的地理分布之限制因子

因應氣候變遷對有害生物之調適策略

因此運用長期氣候資料，依據有害生物受到氣候因子的族群成長及限制增長，估計其發生所需的氣候條件，或直接使用物種生長發育的生物學資料，加入氣候參數，建立有害生物氣候分布模式，將估測結果與已知監測分布相互驗證，藉地理資訊系統分析其在地理上分布位置，提高預測該物種潛在地理分布及族群變化之準確性。當建立這些有害生物的分布資訊後，可規劃實際田間調查技術，因應各種氣候變遷之情境變化，早期預警建立有害生物發生調適策略，採取因應相對措施。

依照有害生物之生態特性 (原來不適合生存地區變成適合生存地地區)，採取相對應管理策略有害生物早期偵測及分布風險族群發生預警－減災與土地覆蓋物結合地理資訊系統，掌握熱點區依照有害生物之生態特性 (原來不適合生存地區變成適合生存地地區)，如東方果實蠅蠅屬 r 型害蟲，因其個體小，發育快速，世代短且生殖前期短 (7 天以內)，繁殖能力高，具遷移習性且在短期內其族群常增加至負荷量，基本上此類害蟲常受到極端天氣影響，惟能適應極為不穩定環境，族群能在短時間恢復。因應調適策略則有優先考慮藥劑防治、大面積誘引調節及田間族群監測，採取相對應管理策略如大面積區域共同防治，有害生物早期偵測及分布風險族群發生預警可以減少疫災，若這些資料與土地覆蓋物結合地理資訊系統，掌握熱點區，因而及早預警採取防治策略。



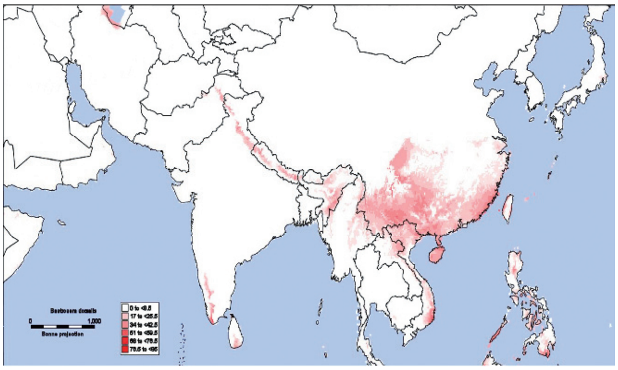


圖4. 上圖基礎年亞洲地區東方果實蠅潛在地理分布，下圖二一○○年亞洲地區東方果實蠅潛在地理分布

參考文獻

Fand, Babasaheb B., Ankush L., Kamble and Mahesh Kumar. 2012. Will climate change pose serious threat to crop pest management: A critical review？ International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 11, 1-15.

Sutherst R. W, Maywald G. F, Kriticos, D. J. 2007. CLIMEX version 3: user's guide. Melbourne, Australia:Hearne Scientific Software Pty Ltd.